

*מקום לנסח את השאלה*

אין להעביר את הנוסחאון  
 לנבחן אחר

## נוסחאון במערכות הספק לכיתה י"ד (21 עמודים)

### 1. מפלי מתח

#### מתח ישר

- $\Delta U$  [V] — מפל מתח מרבי
- $\gamma$  [m /  $\Omega\text{mm}^2$ ] — מוליכות סגולית של המוליכים
- A [mm<sup>2</sup>] — שטח חתך של המוליכים
- $I_k$  [A] — זרם בקטע k
- $L_k$  [m] — אורך של קטע k
- $\Delta P$  [W] — הפסדי הספק מרביים

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k)$$

$$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k)$$

#### מתח חילופין חד-מופע

- $\Delta U$  [V] — מפל מתח מרבי
- $\Delta U_a$  [V] — מפל מתח מרבי ממשי
- $\Delta U_r$  [V] — מפל מתח מרבי היגבי
- $X_o$  [ $\Omega / m$ ] — היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד
- $I_k$  [A] — זרם בקטע k
- $L_k$  [m] — אורך של קטע k
- $\varphi_k$  — הזווית בין מתח לזרם בקטע k
- $\gamma$  [m /  $\Omega\text{mm}^2$ ] — מוליכות סגולית של המוליכים
- A [mm<sup>2</sup>] — שטח חתך של המוליכים
- $\Delta P$  [W] — הפסדי הספק מרביים
- $I_a$  [A] — הזרם הממשי בקטע k
- $I_r$  [A] — הזרם ההיגבי בקטע k

$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$
$\Delta U_r = 2 X_o \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \sin \varphi_k)$
$\Delta U_a = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \cos \varphi_k)$
$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k) =$ $= \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_a^2 + I_r^2)_k \cdot L_k$
$I_a = I \cos \varphi$
$I_r = I \sin \varphi$
$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$ $\bar{I} = I_a + j I_r = I \angle \varphi_k$

מתח חילופין תלת-מופעי

מפל מתח מרבי	—	$\Delta U$ [V]
מפל מתח מרבי ממשי	—	$\Delta U_a$ [V]
מפל מתח מרבי היגבי	—	$\Delta U_r$ [V]
היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד	—	$X_o$ [ $\Omega / m$ ]
זרם בקטע k	—	$I_k$ [A]
אורך של קטע k	—	$L_k$ [m]
הזווית בין מתח לזרם בקטע k	—	$\varphi_k$
מוליכות סגולית של המוליכים	—	$\gamma$ [ $m / \Omega mm^2$ ]
שטח חתך של המוליכים	—	A [ $mm^2$ ]
הפסדי הספק מרביים	—	$\Delta P$ [W]
הזרם הממשי בקטע k	—	$I_a$ [A]
הזרם ההיגבי בקטע k	—	$I_r$ [A]

$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$
$\Delta U_r = \sqrt{3} X_o \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \sin \varphi_k)$
$\Delta U_a = \frac{\sqrt{3}}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \cos \varphi_k)$
$\Delta P = \frac{3}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k) =$ $= \frac{3}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_a^2 + I_r^2)_k \cdot L_k$
$I_a = I \cos \varphi$
$I_r = I \sin \varphi$
$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$
$\bar{I} = I_a + j I_r = I / \varphi_k$

**2. צפיפות זרם אחידה**

שטח חתך בקטע k	—	$A_k$ [ $mm^2$ ]
זרם בקטע k	—	$I_k$ [A]
אורך של קטע k	—	$L_k$ [m]
מוליכות סגולית של המוליכים	—	$\gamma$ [ $m / \Omega mm^2$ ]
מפל המתח המרבי	—	$\Delta U$ [V]
מפל המתח הממשי המרבי	—	$\Delta U_a$ [V]
הזווית בין מתח לזרם בקטע k	—	$\varphi_k$

$A_k = K \cdot I_k$

$K = \frac{2 \sum_{k=1}^{k=n} L_k}{\gamma \Delta U}$	זרם ישר
$K = \frac{2 \sum_{k=1}^{k=n} (L_k \cos \varphi_k)}{\gamma \Delta U_a}$	זרם חילופין חד-מופעי
$K = \frac{\sqrt{3} \sum_{k=1}^{k=n} (L_k \cos \varphi_k)}{\gamma \Delta U_a}$	זרם חילופין תלת-מופעי

### 3. מינימום חומר

#### זרם ישר

שטח חתך בקטע k	—	$A_k$	$[mm^2]$
זרם בקטע k	—	$I_k$	$[A]$
מוליכות סגולית של המוליכים	—	$\gamma$	$[m / \Omega mm^2]$
מפל המתח המרבי	—	$\Delta U$	$[V]$
אורך של קטע k	—	$L_k$	$[m]$

$$K = \frac{2}{\gamma \Delta U} \sum_{k=1}^{k=n} (L_k \sqrt{I_k})$$

$$A_k = K \sqrt{I_k}$$

#### זרם חילופין חד-מופעי

שטח חתך בקטע k	—	$A_k$	$[mm^2]$
זרם בקטע k	—	$I_k$	$[A]$
מוליכות סגולית של המוליכים	—	$\gamma$	$[m / \Omega mm^2]$
מפל המתח הממשי המרבי	—	$\Delta U_a$	$[V]$
הזווית בין מתח לזרם בקטע k	—	$\varphi_k$	
אורך של קטע k	—	$L_k$	$[m]$

$$K = \frac{2}{\gamma \Delta U_a} \sum_{k=1}^{k=n} (L_k \sqrt{I_k \cos \varphi_k})$$

$$A_k = K \sqrt{I_k \cos \varphi_k}$$

#### זרם חילופין תלת-מופעי

שטח חתך בקטע k	—	$A_k$	$[mm^2]$
זרם בקטע k	—	$I_k$	$[A]$
מוליכות סגולית של המוליכים	—	$\gamma$	$[m / \Omega mm^2]$
מפל המתח הממשי המרבי	—	$\Delta U_a$	$[V]$
הזווית בין מתח לזרם בקטע k	—	$\varphi_k$	
אורך של קטע k	—	$L_k$	$[m]$

$$K = \frac{\sqrt{3}}{\gamma \Delta U_a} \sum_{k=1}^{k=n} (L_k \sqrt{I_k \cos \varphi_k})$$

$$A_k = K \sqrt{I_k \cos \varphi_k}$$

**צפיפות הזרם החד-שנייתית ב-[A/mm<sup>2</sup>]**

טמפרטורת המוליך לפני הקצר [°C]	טמפרטורה גבולית Cu – [°C]				טמפרטורה גבולית Al – [°C]			
	130	150	170	200	130	150	170	200
	5	144	153	161	173	96	102	108
10	141	150	158	170	94	100	106	113
15	137	146	155	167	91	98	104	111
20	133	143	152	164	89	95	102	109
25	130	140	149	161	87	93	99	107
30	126	136	145	158	84	91	97	105
35	122	133	142	155	82	89	95	103
40	118	129	139	152	80	87	93	102
45	114	125	135	149	77	85	91	100
50	110	122	132	146	75	82	89	97
55	106	118	129	143	72	80	87	95
60	103	115	126	140	69	77	85	93
65	—	111	122	137	67	75	82	91
70	—	108	119	134	64	72	80	89
75	—	104	116	131	61	70	78	87
80	—	100	112	128	58	67	76	85
85	—	96	109	125	55	65	73	83
90	—	92	105	122	51	62	71	81
95	—	88	102	119	48	59	68	79
100	—	84	98	115	44	56	65	75

**שטחי חתך אופייניים, זרם מרבי וההגנה הנדרשת במוליכים ובכבלים עשויים נחושת (טמפרטורת הסיבה 35 °C)**

מעגל חד-מופעי (כבל שכולל מוליך מופע ומוליך אפס)		מעגל תלת-מופעי (כבל שכולל 3 מוליכי מופע)		שטח חתך [mm <sup>2</sup> ]
נתיך [A]	זרם מרבי [A]	נתיך [A]	זרם מרבי [A]	
10	16	10	14	1.5
16	22	16	19	2.5
20	29	20	26	4
32	38	25	33	6
50	53	40	46	10
63	70	50	63	16
80	94	63	82	25
100	126	80	103	35
125	140	100	124	50
160	178	125	159	70
200	215	160	192	95
224	250	200	222	120

**נתונים של מוליכי Al-Fe שזורים וגלויים בטמפרטורת סביבה 20 °C**

I	D <sub>m</sub> [cm]									R <sub>0</sub>	קוטר	שטח חתך	
	56	100	200	300	400	500	600	700	1000				
	X <sub>0</sub> [Ω/km]												[Ω/km]
[A]													
90	0.351	0.386	0.429	0.455	0.473	0.487	0.498	0.508	0.530	1.875	5.4	16/2.5	
125	0.336	0.371	0.415	0.440	0.458	0.472	0.484	0.493	0.515	1.205	6.8	25/4	
145	0.325	0.361	0.404	0.429	0.447	0.461	0.473	0.482	0.505	0.837	8.1	35/6	
170	0.315	0.350	0.393	0.419	0.437	0.451	0.462	0.472	0.494	0.594	9.6	50/8	
235	0.303	0.338	0.381	0.407	0.425	0.439	0.450	0.460	0.482	0.434	11.6	70/12	
290	0.294	0.329	0.372	0.398	0.416	0.430	0.441	0.451	0.473	0.319	13.4	95/15	
345	0.284	0.319	0.362	0.388	0.406	0.420	0.431	0.441	0.463	0.234	15.7	120/21	
355	0.282	0.318	0.361	0.386	0.404	0.418	0.430	0.439	0.462	0.233	16.1	125/29	
400	0.278	0.313	0.356	0.382	0.400	0.414	0.425	0.435	0.457	0.194	17.3	150/25	
440	0.272	0.308	0.351	0.376	0.394	0.408	0.420	0.429	0.452	0.169	18.9	170/40	
455	0.271	0.307	0.350	0.375	0.393	0.407	0.419	0.428	0.451	0.156	19.2	185/32	
490	0.267	0.302	0.346	0.371	0.389	0.403	0.415	0.424	0.446	0.137	20.5	210/36	
505	0.266	0.301	0.344	0.370	0.388	0.402	0.413	0.423	0.445	0.137	21.0	210/50	
530	0.263	0.299	0.342	0.368	0.386	0.400	0.411	0.421	0.443	0.121	21.7	240/40	
615	0.257	0.292	0.335	0.361	0.379	0.393	0.404	0.414	0.436	0.097	24.2	300/50	
630	0.251	0.286	0.330	0.355	0.373	0.387	0.398	0.408	0.430	0.095	26.6	310/100	
680	0.247	0.283	0.326	0.351	0.369	0.383	0.395	0.404	0.427	0.085	28.1	340/110	

**נתונים של מוליכי חמרון ונחושת שזורים וגלויים בטמפרטורת סביבה 20 °C**

Al		Cu		D <sub>m</sub> [cm]									קוטר	שטח חתך
I	R <sub>0</sub>	I	R <sub>0</sub>	56	100	200	300	400	500	600	700	1000		
[A]	[Ω/km]	[A]	[Ω/km]	X <sub>0</sub> [Ω/km]										
—	—	70	1.786	0.368	0.403	0.446	0.472	0.490	0.504	0.515	0.525	0.547	4.1	10
92	1.805	115	1.123	0.354	0.389	0.433	0.458	0.476	0.490	0.502	0.511	0.533	5.1	16
121	1.185	151	0.738	0.341	0.376	0.420	0.445	0.463	0.477	0.488	0.498	0.520	6.3	25
149	0.845	174	0.525	0.330	0.365	0.409	0.434	0.452	0.466	0.477	0.487	0.509	7.5	35
187	0.587	234	0.364	0.319	0.354	0.397	0.423	0.441	0.455	0.466	0.476	0.498	9.0	50
226	0.435	282	0.271	0.309	0.344	0.388	0.413	0.431	0.445	0.456	0.466	0.488	10.5	70
282	0.309	357	0.192	0.298	0.333	0.377	0.402	0.420	0.434	0.445	0.455	0.477	12.5	95
329	0.245	411	0.153	0.291	0.326	0.370	0.395	0.413	0.427	0.438	0.448	0.470	14.0	120
382	0.196	477	0.122	0.283	0.319	0.362	0.387	0.405	0.419	0.431	0.440	0.463	15.8	150
435	0.158	544	0.098	0.277	0.312	0.356	0.381	0.399	0.413	0.424	0.434	0.456	17.5	185
502	0.126	630	0.078	0.270	0.305	0.349	0.374	0.392	0.406	0.417	0.427	0.449	19.6	240
513	0.118	641	0.074	0.268	0.303	0.346	0.372	0.390	0.404	0.415	0.425	0.447	20.3	240
598	0.096	747	0.060	0.261	0.297	0.340	0.365	0.383	0.397	0.409	0.418	0.441	22.5	300

**זרם מרבי (באמפר) בכבלים, במתח נמוך עד 1000 V  
(טמפרטורת הסביבה: 20 °C)**

כבלי חמרן NAYY ; NAYFGBY ; NAYCY		כבלי נחושת NYY ; NYFGBY ; NYCY		חתך (ממ"ר)
באדמה	באוויר	באדמה	באוויר	
—	—	25	20	3 × 1.5
—	—	35	28	3 × 2.5
36	29	45	36	3 × 4
48	38	60	48	3 × 6
64	51	80	64	3 × 10
88	70	110	88	3 × 16
110	88	135	110	3 × 25
130	105	165	130	3 × 35
160	130	200	160	3 × 50
195	155	245	195	3 × 70
235	190	295	235	3 × 95
270	215	340	270	3 × 120
310	250	390	310	3 × 150
355	285	445	355	3 × 185
410	330	515	410	3 × 240

**4. זרמי הקצר**

זרם קצר תלת-מופעי —  $I_k$  [A]  
סימטרי

עכבת מעגל הקצר (מהמקור —  $Z$  [Ω]  
למקום הקצר) למופע אחד

$$I_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} Z}$$

הספק מדומה של שנאי	—	$S_T$ [VA]	
הספק מדומה של גנרטור	—	$S_G$ [VA]	
היגב של גנרטור למופע אחד	—	$X_G$ [Ω]	$X_G = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_G}$
התנגדות של שנאי למופע אחד	—	$R_T$ [Ω]	$R_T = \frac{U_{r\%} U^2}{100 S_T}$
היגב של שנאי למופע אחד	—	$X_T$ [Ω]	
סכום ההתנגדויות במעגל הקצר למופע אחד	—	$\Sigma R$ [Ω]	
סכום ההיגבים במעגל הקצר למופע אחד	—	$\Sigma X$ [Ω]	$X_T = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_T}$
המתח שבו התרחש הקצר	—	$U$ [V]	
מתח הקצר באחוזים	—	$U_{k\%}$	$U_{k\%} = \sqrt{U_{r\%}^2 + U_{x\%}^2}$
הרכיב הממשי של מתח הקצר באחוזים	—	$U_{r\%}$	
הרכיב ההיגבי של מתח הקצר באחוזים	—	$U_{x\%}$	$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2}$
התנגדות הקו ליחידת אורך	—	$R_o$ [Ω / km]	$R_L = R_o \cdot L$
התנגדות הקו	—	$R_L$ [Ω]	
היגב הקו ליחידת אורך	—	$X_o$ [Ω / km]	$X_L = X_o \cdot L$
היגב הקו	—	$X_L$ [Ω]	
אורך הקו	—	$L$ [km]	$R'_1 = R_1 \cdot K^2$
המתח המופעי שבו נתונים ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$	—	$U_{1ph}$ [V]	
המתח השלוב שבו נתונים ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$	—	$U_{1L}$ [V]	$X'_1 = X_1 \cdot K^2$
המתח המופעי שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות $R_1$ ואת ההיגב $X_1$	—	$U_{2ph}$ [V]	
המתח השלוב שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות $R_1$ ואת ההיגב $X_1$	—	$U_{2L}$ [V]	$K = \frac{U_{2ph}}{U_{1ph}} = \frac{U_{2L}}{U_{1L}}$
ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$ אשר הועברו למתח $U_2$	—	$R'_1, X'_1$ [Ω]	
מקדם ההמרה	—	$K$	

5. פסי הצבירה

- הכוח הפועל על פס באורך  $l$  m —  $F$  [kg / m]
- זרם הקצר —  $I_k$  [kA]
- המרחק בין המרכזים של פסי הצבירה —  $d$  [cm]
- מאמץ הכפיפה —  $\sigma$  [kg / cm<sup>2</sup>]
- הכוח הפועל על הפס בקטע בין שני מבדדים —  $P$  [kg]
- אורך הפס בין שני מבדדים —  $L$  [cm]
- מומנט ההתנגדות (מודול החתך) —  $W$  [cm<sup>3</sup>]
- מקדם האלסטיות —  $E$  [kg / cm<sup>2</sup>]
- מומנט ההתמדה (אינרציה) —  $J$  [cm<sup>4</sup>]

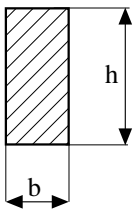
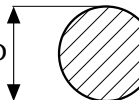
$$F = 1.76 \frac{I_k^2}{d}$$

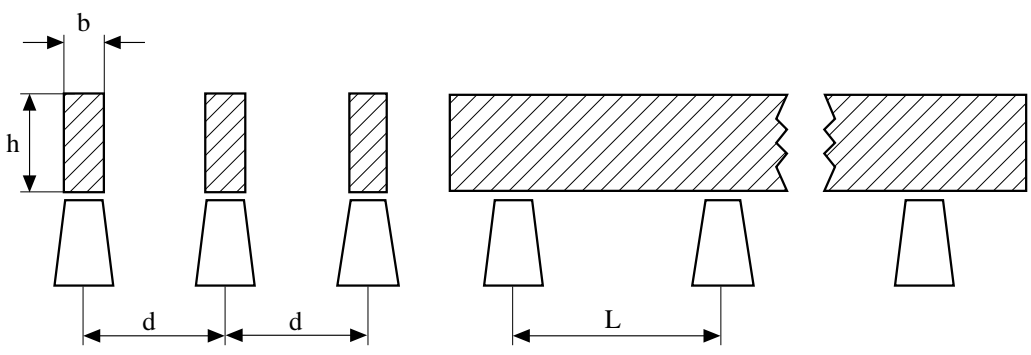
$$P = F \frac{L}{100}$$

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{12W}$$

$$f = \frac{112}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}}$$

- המשקל של פס באורך  $1$  cm —  $G$  [kg]
- תדירות התהודה העצמית —  $f$  [Hz]
- רוחב הפס —  $b$  [cm]
- גובה הפס —  $h$  [cm]
- קוטר הפס —  $D$  [cm]
- המשקל הסגולי —  $g$  [kg / cm<sup>3</sup>]

חתך	J	W	G
	$\frac{b^3 h}{12}$	$\frac{b^2 h}{6}$	$b \cdot h \cdot g$
	$0.05 D^4$	$0.1 D^3$	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot g$



המשך בעמוד 9



**6. שיפור מקדם ההספק**

- $Q_c$  [kVAr] — ההספק ההיגבי של סוללת הקבלים התלת-מופעית הנדרשת לשיפור מקדם ההספק
- $P$  [kW] — הספק אקטיבי הנצרך מהרשת
- $\varphi_1$  [°] — הזווית לפני השיפור
- $\varphi_2$  [°] — הזווית אחרי השיפור
- $C$  [ $\mu F$ ] — קיבול הקבל הנדרש
- $Q_{c1}$  [kVAr] — ההספק ההיגבי של הקבל במופע אחד
- $f$  [Hz] — תדירות הרשת
- $U_c$  [V] — המתח על פני הקבל הנדרש

$$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

$$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3}$$

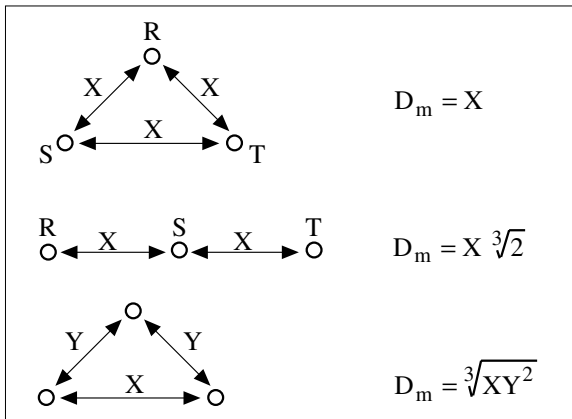
$$C = \frac{Q_{c1} \cdot 10^9}{U_c^2 \omega}$$

$$\omega = 2\pi f$$

**הערה:** מקדם ההספק הנדרש על-ידי חברת החשמל הוא: 0.92 .

**7. קווי הספק**

- $X$  [cm] — המרחק בין המוליכים
- $D_m$  [cm] — המרחק הממוצע בין המוליכים



- $\gamma$  [ $m / \Omega mm^2$ ] — המוליכות הסגולית
- $g$  [ $g / cm^3$ ] — המשקל הסגולי

חומרים		
חמרן	נחשת	
35	57	$\gamma$
2.7	8.9	$g$

הפסד הספק אקטיבי	— $\Delta P$ [W]	$\Delta P = 3I^2 R_o L$
הפסד הספק היגבי (השראותי)	— $\Delta Q_L$ [VAR]	$\Delta Q_L = 3I^2 X_o L$
התנגדות הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד	— $R_o$ [ $\Omega / km$ ]	$X_o = 0.144 \log \frac{D_m}{r} + 0.016$
היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד	— $X_o$ [ $\Omega / km$ ]	
אורך הקו	— $L$ [km]	$\Delta Q_C = \sqrt{3} I_C U$
המרחק הממוצע בין המוליכים	— $D_m$ [cm]	$I_C = \frac{U}{\sqrt{3}} C_o L \omega \cdot 10^{-6}$ עבור: $f=50Hz$ $I_C = 0.181 U C_o L \cdot 10^{-3}$
רדיוס המוליך	— $r$ [cm]	
הפסד הספק היגבי (קיבולי)	— $\Delta Q_C$ [VAR]	$C_o = \frac{0.0242}{\log \frac{D_m}{r}}$
זרם הזליגה של הקו	— $I_C$ [A]	
קיבול קו עילי ליחידת אורך עבור מוליך אחד	— $C_o$ [ $\mu F / km$ ]	
המתח השלוב של הרשת	— $U$ [V]	

מרחקים מומלצים בין המוליכים ברשת עילית:

U [kV]	D <sub>m</sub> [m]
0.5	0.4–0.5
10	0.8–1.2
15	1.2–1.4
20	1.4–1.6
30	1.6–2
60	2.2–3.2
110	3.6–5.5
115	5.5–6.5
220	6.5–7.5
380	9.5–14
500	14–17

8. התחממות של מוליכים וכבלים

טמפרטורת הסביבה בטבלת ההעמסה	–	$T_1$ [°C]	$I'_{T1} = I_{T1} \sqrt{\frac{T_2 - T'_1}{T_2 - T_1}}$
טמפרטורת הסביבה האמיתית	–	$T'_1$ [°C]	
הטמפרטורה המרבית המותרת	–	$T_2$ [°C]	
הזרם המותר למוליך	–	$I_{T1}$ [A]	$I = c \cdot I_n$
בטמפרטורת הסביבה על-פי הטבלה			
הזרם המותר למוליך	–	$I'_{T1}$ [A]	$c = \frac{0.875}{\sqrt{\frac{t_\gamma}{t}}}$
בטמפרטורת הסביבה האמיתית			
מקדם ההפחתה לעבודה מחזורית (זמן המחזור עד 10 דקות)	–	$c$	
הזרם המותר בעבודה קבועה	–	$I_n$ [A]	
הזרם המותר בעבודה מחזורית	–	$I$ [A]	
זמן עבודה	–	$t_\gamma$ [min]	
זמן המחזור	–	$t$ [min]	

מקדמי ההפחתה עבור כבלים המונחים בתעלה אחת:

<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>מספר הכבלים</b>
				<b>מקדם הפחתה</b>
0.59	0.66	0.78	1	כבלים צמודים
0.67	0.72	0.87	1	כבלים במרווח 10 cm

אם **טמפרטורת הסביבה שונה** מזו המופיעה בטבלת העמסת הכבלים, יש להכפיל את מקדם ההפחתה במספר המתאים מן הטבלה הזו:

15	<b>20</b>	25	30	35	<b>טמפרטורת הסביבה (°C)</b>
1.05	<b>1</b>	0.94	0.88	0.82	<b>כופל מקדם ההפחתה</b>

9. תאורה

שטף אור ונצילות של מקורות אור שונים

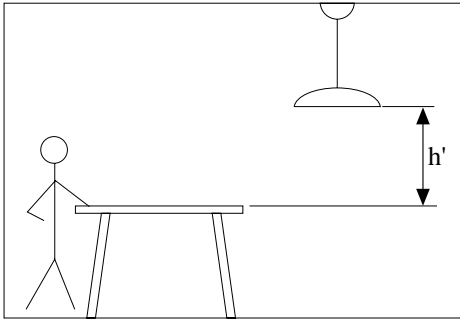
<u>נצילות [lm/W]</u>	<u>שטף אור [lm]</u>	<u>נורות להט (220 V)</u>
9.2	230	25 W
10.7	430	40 W
12.2	730	60 W
13.8	1380	100 W
15.7	3140	200 W
16.7	5000	300 W
16.8	8400	500 W
		<u>נורות להט (עם תוספת יוד)</u>
22.0	22000	1000 W
		<u>נורות פלורסנטיות</u>
57	2950	40 W לבן בהיר
46	2300	כנ"ל לבן אוניברסלי
38	1900	כנ"ל לבן חמים
61	4750	65 W לבן בהיר
46	3600	כנ"ל לבן אוניברסלי
40	3150	כנ"ל לבן חמים
		<u>נורות כספית (לחץ גבוה)</u>
39	3400	80 W
41	5600	125 W
45	12000	250 W
49	21000	400 W
		<u>נורות תערובת (כספית + להט)</u>
18	2900	160 W
21	5200	250 W
25	12500	500 W
		<u>נורות נתרן</u>
72	4400	40 W
91	7400	60 W
90	12500	100 W
108	20500	150 W
125	30000	200 W

- הערות: 1. בנורות פריקה – ההספק נתון עבור הנורה בלבד.  
 2. הנצילות מחושבת גם על-פי ההפסדים בציווד העזר.

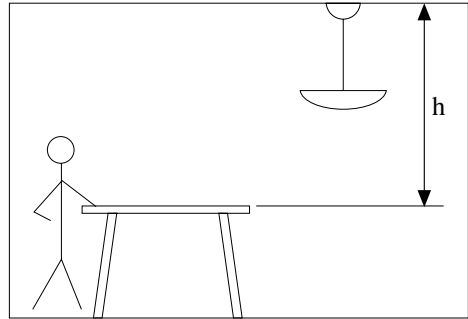
**חישוב תאורה כללית**

<p>0/80%</p> <p>א</p>	<p>10/70%</p> <p>ב</p>	<p>45/35%</p> <p>ג</p>	<p>70/10%</p> <p>ד</p>	<p>80/0%</p> <p>ה</p>
תאורה ישירה	תאורה כמעט ישירה	תאורה שווה	תאורה בלתי ישירה ברובה	תאורה בלתי ישירה

תאורה ישירה



תאורה בלתי ישירה



$$R_K = \frac{2a + b}{6h}$$

מקדם האולם —  $R_K$

רוחב האולם —  $a$  [m]

אורך האולם —  $b$  [m]

המרחק האנכי בין התקרה ומשטח העבודה —  $h$  [m]

המרחק האנכי של גוף התאורה ממשטח העבודה —  $h'$  [m]

$$R_K = \frac{2a + b}{4h}$$

שטף האור הנדרש —  $\phi$  [lm]

עוצמת המאור הנדרשת —  $E$  [lx]

שטח האולם —  $A$  [m<sup>2</sup>]

מקדם ההפחתה —  $k$

נצילות התאורה —  $\eta$  [%]

$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{k \cdot \eta}$$

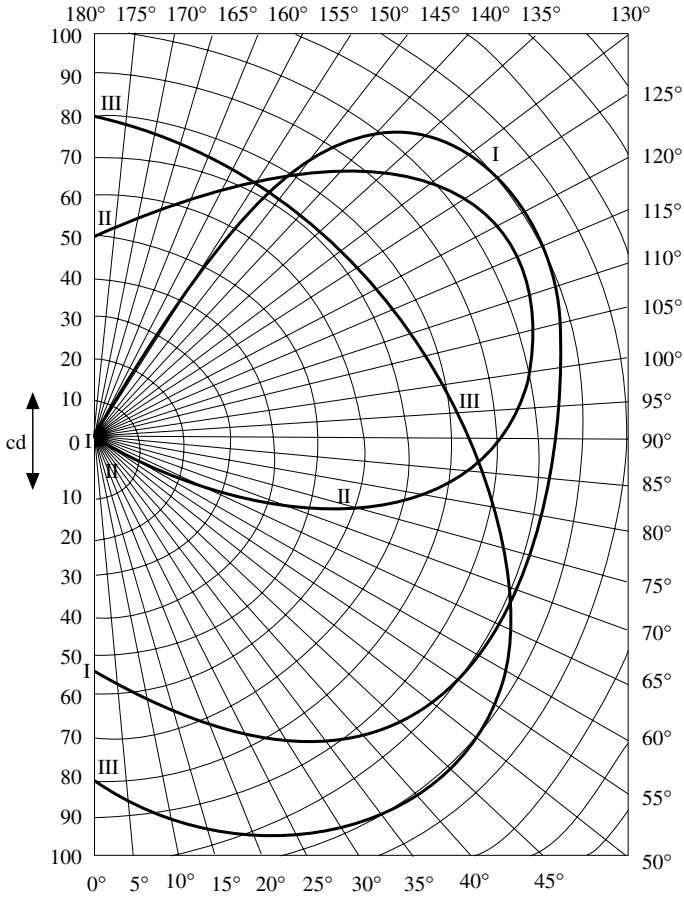
**מקדמי הפחתה k**

תאורה פלורסנטית		תאורת כספית		תאורת ליבון		סוג התאורה	סוג גופי התאורה
מרובה	מועט	מרובה	מועט	מרובה	מועט	מצב האבק	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	גופים לתאורה ישירה גופים לתאורה שווה גופים לתאורה בלתי ישירה	
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75		
0.3	0.6	0.35	0.65	0.35	0.7		

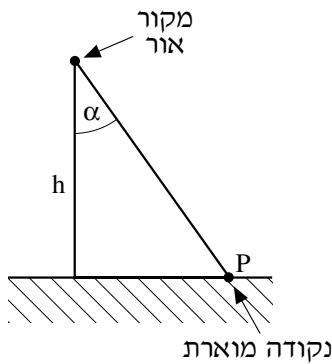
**נצילות התאורה η**

30		50			75			← החזרה מהתקרה (%) ← החזרה מהקירות (%)	R <sub>k</sub>	סוג גוף התאורה
10	30	10	30	50	10	30	50			
31	34	31	34	38	31	34	39	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	א	
40	42	41	43	46	42	44	47			
45	47	46	47	50	47	48	51			
51	52	52	53	56	52	55	58			
55	57	58	58	60	57	59	61			
61	62	62	63	66	62	65	68			
64	66	65	67	69	67	69	71	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ב	
23	25	23	26	32	23	27	32			
30	34	30	34	39	31	35	40			
35	36	35	39	43	36	39	44			
42	45	42	46	50	43	47	52			
46	50	47	51	55	48	52	57			
53	56	54	57	62	54	59	65	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ג	
60	61	60	63	67	62	66	71			
17	18	18	19	21	19	21	24			
21	22	23	24	26	26	27	30			
24	25	25	27	29	29	30	32			
27	28	29	31	32	33	35	38			
29	31	32	34	35	36	38	40	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ד	
32	33	35	37	39	40	42	45			
34	35	38	39	41	44	46	48			
7	8	9	11	14	12	14	18			
9	10	13	15	17	17	19	22			
11	12	15	17	20	19	22	26			
14	15	19	21	24	25	28	32	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ה	
15	17	24	24	27	29	32	35			
19	20	27	28	31	35	38	42			
22	23	31	33	36	42	44	48			
3	4	6	8	9	10	11	15			
4	6	9	10	12	13	15	19			
5	7	10	12	14	16	19	22	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ה	
8	9	14	16	19	21	24	28			
10	11	17	18	21	25	28	32			
12	13	21	22	25	31	34	38			
15	16	25	27	29	38	41	43			

**דיאגרמה פולרית של מקור אור בעל 1000 lm**



- צפיפות ההארה לכל  $\alpha$  מכיוון 1000 lm —  $I_\alpha$  [cd]
- עוצמת ההארה לכל  $\alpha$  מכיוון 1000 lm —  $E_\alpha$  [ $\text{lx}$ ]
- גובה מעל משטח ההארה —  $h$  [m]



$$E_\alpha = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$

10. ויסות המתח

- $\delta U_K$  [%] הפרשי מתח בנקודה K
- $U_T$  [%] תוספות של מתח בשנאים
- $\Delta U_{AK}$  [%] מפלי מתח מהמקור עד לנקודה K
- $\delta U_{\min}$  [%] הפרשי מתח מזעריים
- $\delta U_{\max}$  [%] הפרשי מתח מרביים
- $\Delta U_T$  [%] מפל המתח על שנאי
- $\Delta U_L$  [%] מפל המתח על הקו
- $I$  [A] זרם הרשת
- $R_T$  [ $\Omega$ ] התנגדות השנאי (למופע)
- $X_T$  [ $\Omega$ ] ההיגב ההשראותי של שנאי (למופע)
- $R_L$  [ $\Omega$ ] ההתנגדות של מוליך אחד
- $X_L$  [ $\Omega$ ] ההיגב ההשראותי של מוליך אחד
- $U_n$  [V] מתח הייחוס
- $R_1$  [ $\Omega$ ] ההתנגדות של מרכיב במתח נתון ( $U_1$ )
- $R'_1$  [ $\Omega$ ] ההתנגדות של מרכיב במתח אחר ( $U_2$ )
- $X_1$  [ $\Omega$ ] ההיגב ההשראותי של מרכיב במתח נתון ( $U_1$ )
- $X'_1$  [ $\Omega$ ] ההיגב ההשראותי של מרכיב במתח אחר ( $U_2$ )
- $U_{1ph}$  [V] המתח שבו נמצא המרכיב
- $U_{2ph}$  [V] המתח שאליו רוצים לשקף

$$\delta U_K = \Sigma (U_T) - \Sigma (\Delta U_{AK})$$

$$\delta U_{\min} < \delta U_K < \delta U_{\max}$$

$$\Delta U_T \% = \frac{\sqrt{3} (I' R_T + I'' X_T)}{U_n} \cdot 100$$

$$\Delta U_L \% = \frac{\sqrt{3} (I' R_L + I'' X_L)}{U_n} \cdot 100$$

$$I' = I \cos \varphi ; \quad I'' = I \sin \varphi$$

$$R'_1 = R_1 \left( \frac{U_{2ph}}{U_{1ph}} \right)^2$$

$$X'_1 = X_1 \left( \frac{U_{2ph}}{U_{1ph}} \right)^2$$



**11. מתח קורונה**

- מתח קורונה שלוב בסידור של מוליכים במשולש —  $U_{KR}$  [kV]
- לחץ האוויר —  $b$  [cm · Hg]
- טמפרטורת הסביבה —  $t$  [°C]
- המרחק הממוצע בין המוליכים —  $D_m$  [cm]
- רדיוס המוליך —  $r$  [cm]
- מקדם מבנה המוליך —  $m_1$
- \* מלא: 1
- \* שזור: 0.7 – 0.9
- מקדם מזג האוויר —  $m_2$
- \* יבש: 1
- \* רטוב: 0.8
- מתח מופעי של הרשת —  $U_O$  [kV]
- מתח קורונה מופעי —  $U_{OKR}$ [kV]
- הפסדי קורונה במופע אחד —  $\Delta P_{OKR}$ [kW / km]

$$U_{KR} = \sqrt{3} \cdot 21.1 \cdot r \cdot 2.3 \lg \frac{D_m}{r} m_1 m_2 \delta$$

$$\delta = \frac{3.92 \cdot b}{273 + t}$$

R	S	T	שינויים של מתח קורונה מופעי
o	o	o	
+6%	-4%	+6%	

עבור:  $f = 50 \text{ Hz}$

$$\Delta P_{OKR} = \frac{0.18}{\delta} \sqrt{\frac{r}{D_m}} (U_O - U_{OKR})^2$$

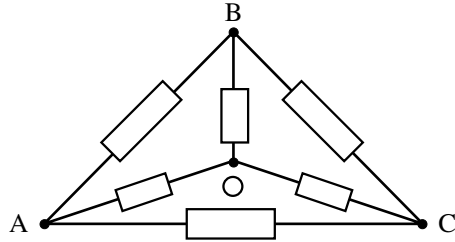
12. צפיפות זרם כלכלית (מערכת תלת-מופעית)

המתח המומלץ	—	$U$ [kV]	$U = \frac{\sqrt{3} j L \cdot 100}{\Delta P_{\%} \gamma \cos \varphi}$
צפיפות זרם כלכלית	—	$j$ [A / mm <sup>2</sup> ]	
אורך הקו	—	$L$ [km]	
הפסדי הספק מרביים	—	$\Delta P_{\%}$	$I_{\max} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}$
מוליכות סגולית	—	$\gamma$ [m / Ωmm <sup>2</sup> ]	
הזווית בין מתח לזרם בקו	—	$\varphi$	$A = \frac{I_{\max}}{j}$
הזרם המרבי	—	$I_{\max}$ [A]	
ההספק המרבי	—	$P_{\max}$ [kW]	
המתח הנקוב	—	$U_n$ [kV]	
שטח חתך מומלץ	—	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	
אנרגיה שנתית	—	$W_{\psi}$ [kWh]	$W_{\psi} = \int_0^{8760} P \cdot t \, dt$
הספק מרבי	—	$P_{\max}$ [kW]	
הספק רגעי	—	$P$ [kW]	$T_v = \frac{W_{\psi}}{P_{\max}} = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^{8760} P \cdot t \, dt$
זמן שימוש בהספק מרבי	—	$T_v$ [h]	

$T_v$	$j$			
	כבלים		קווים עיליים	
	Cu	Al	Cu	Al-Fe
$T_v > 5000$ h	2	1.3	1.25	0.75
$3000 < T_v < 5000$ h	2.25	1.5	1.75	1
$T_v < 3000$ h	2.65	1.65	2.5	1.5

13. חישובים ברשתות

הפיכת משולש לכוכב



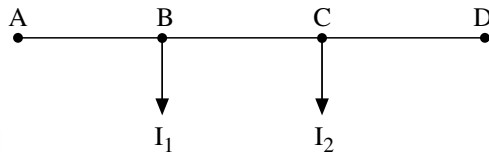
$$R_{OB} = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$$

$$R_{OC} = \frac{R_{BC} \cdot R_{AC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$$

$$R_{OA} = \frac{R_{AB} \cdot R_{AC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}$$

פירוק הזרמים והעברתם לנקודות חדשות

הנקודות שאליהן מעבירים את הזרמים — A, D



התנגדות הקטע בין הנקודות המצוינות — R [Ω]

הערה:

כאשר מוליכי הרשת עשויים מאותו חומר ושטח החתך אחיד לכל אורכם, ניתן להשתמש באורכים במקום בהתנגדויות בנוסחאות אלו.

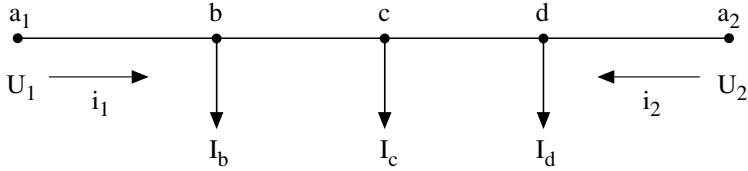
$$I_{1 \rightarrow A} = I_1 \frac{R_{BD}}{R_{AD}}$$

$$I_{1 \rightarrow D} = I_1 \frac{R_{AB}}{R_{AD}}$$

$$I_{2 \rightarrow A} = I_2 \frac{R_{CD}}{R_{AD}}$$

$$I_{2 \rightarrow D} = I_2 \frac{R_{AC}}{R_{AD}}$$

**רשת בעלת זינה משני כיוונים במתחים זהים, ושטח חתך אחיד של המוליכים**



הזרמים המדומים:

**הערות:**

$$i_1 = \frac{I_b \cdot L_{ba2} + I_c \cdot L_{ca2} + I_d \cdot L_{da2}}{L_{a1a2}}$$

1. כאשר מוליכי הרשת עשויים מאותו

חומר ושטח החתך שלהם אינו אחיד לכל אורכם, יש להשתמש בהתנגדויות במקום באורכים בנוסחאות לחישוב הזרמים המדומים.

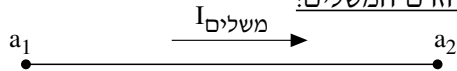
$$i_2 = \frac{I_b \cdot L_{ba1} + I_c \cdot L_{ca1} + I_d \cdot L_{da1}}{L_{a1a2}}$$

2. במערכת זרם חילופין יש לבצע חישובים של זרם מדומה, זרם אקטיבי וזרם ריאקטיבי.

ריאקטיבי.

**רשת בעלת זינה משני כיוונים במתחים שונים בעלי מופעים זהים**

הזרם המשלים:



(כאשר  $U_1 > U_2$ )

$$I_{\text{משלים}} = \frac{U_1 - U_2}{2 \cdot R_{a1a2}}$$

זרם ישר/זרם חילופין חד-מופעי

(כאשר  $U_1 > U_2$ )

$$I_{\text{משלים}} = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{3} \cdot R_{a1a2}}$$

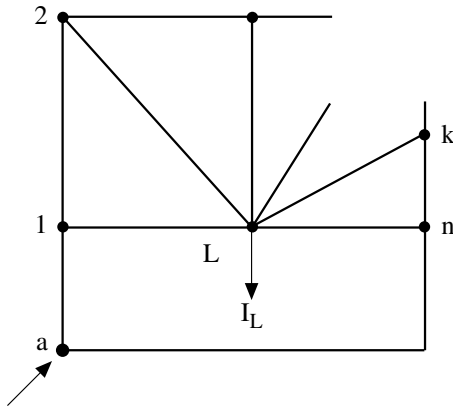
זרם חילופין תלת-מופעי

$$I_1 = i_1 + I_{\text{משלים}}$$

הזרם האמיתי:

$$I_2 = i_2 - I_{\text{משלים}}$$

**משוואות הצומת**



L - הצומת הנבדק

המרכיב האקטיבי

— □ ' □

$$\Delta U_L' \sum_{k=1}^{k=n} (G_{Lk}) - \sum_{k=1}^{k=n} (\Delta U_k' \cdot G_{Lk}) + \sum_{k=1}^{k=n} (i_k') - I_L' = 0$$

המרכיב ההיגבי

— □ " □

$$\Delta U_L'' \sum_{k=1}^{k=n} (G_{Lk}) - \sum_{k=1}^{k=n} (\Delta U_k'' \cdot G_{Lk}) + \sum_{k=1}^{k=n} (i_k'') - I_L'' = 0$$

מפל המתח מהמקור עד

נקודה L

—  $\Delta U_L$  [V]

$$I_{Lk}' = (\Delta U_L' - \Delta U_k') G_{Lk}$$

מפל המתח מהמקור עד

נקודה k

—  $\Delta U_k$  [V]

$$I_{Lk}'' = (\Delta U_L'' - \Delta U_k'') G_{Lk}$$

Lk מוליכות של קטע

—  $G_{Lk}$  [1 /  $\Omega$ ]

הזרם בענף k

—  $i_k$  [A]

L זרם הצרכן בנקודה

—  $I_L$  [A]

הזרם המשלים

—  $I_{Lk}$  [A]

**בהצלחה!**